L'HOMME ET LA DÉGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT
XV[e] Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes
Éditions APDCA, Juan-les-Pins, 1995

Le rôle respectif des facteurs anthropiques et naturels dans la dynamique actuelle et passée des paysages méditerranéens.

Cas du bassin de Vera, sud-est de l'Espagne

Nicolas FEDOROFF, Marie-Agnès COURTY***

RÉSUMÉ

Le décryptage des enregistrements dans le sol des effets des activités humaines et des facteurs naturels montre que : (1) l'impact actuel de l'homme sur les sols et les paysages est exceptionnel et n'a jamais eu d'équivalent dans le passé ; (2) au cours de l'Holocène les facteurs climatiques ont eu un rôle prépondérant sur l'évolution des sols et des paysages. Le climat humide et chaud de l'Holocène ancien a favorisé la stabilisation des couvertures pédologiques. À partir de 5000 BP, l'installation d'un climat semi-aride à fort contraste saisonnier s'est traduite par une sensibilité accrue à l'érosion, dont la tendance générale a été interrompue par des événements abrupts d'intensité variable. Le plus marqué s'est produit à l'Âge du Bronze ancien et a engendré une érosion considérable.

ABSTRACT

A multiscalar approach to investigate mechanisms involved in sedimentation and soil-forming processes has been adopted to decouple the respective effects of human activities and climate-related factors on the dynamics of soil landscapes over the Holocene in the Vera basin. The comparative study of pedo-sedimentary facies analysed from a selection of soils and pedo-sediments, of various ages and representative of a large regional diversity, demonstrates a paroxysmal impact of human activities on soils and landscapes in the first half of this century. During modern times, people built terraces on almost every hill and mountain slope, and directed flood irrigation to induce massive siltation in lowlands. The man-made terrace system has been progressively abandoned during the last four decades. The sequence of soil

* Laboratoire de science des sols et hydrologie, INA P-G, 78850 Thiverval-Grignon.
** CRA-CNRS, 1 place Aristide Briand, 92195 Meudon Cedex.

transformation in terraces and fields caused by their abandonment is initiated by a rapid sealing of the soil surface immediately followed by a colonisation by cryptogams, then by ruderal vegetation. Abandonment appears not to be associated with an increase of erosion and has remained restricted to some fragile zones. The high pollution risk of « industrial » agriculture (based on trickle irrigation and plastic green houses), which has recently been intensified, only affects limited surfaces. During the Holocene, the impact of climate-related factors on soils and landscape has remained dominant. The warm and wet climate of the Early Holocene has favored extensive soil stabilisation by providing suitable water storage for deep rooting. An increase in aridity at ca. 5 000 BP, with the establishment of a fresh-wet/warm-dry seasonal contrast and irregular rain, has considerably increased drought and erosion hazards. A general trend to weak stability, attenuated by the high resilience of soils, has been interrupted by a few abrupt events of variable intensity. The most intense episode, synchronous to the Early Bronze Age, has provoked massive erosion and deep incision which initiated formation of bad-lands.

Le poids des facteurs régissant la dynamique des paysages méditerranéens au cours de l'Holocène est l'objet de débats controversés teintés de dogmatisme. Que les sociétés humaines autour de la Méditerranée depuis le Néolithique sont passées par des crises caractérisées par des baisses de population, voire des disparitions et aussi des régressions culturelles est indéniable (Glassner, 1986 ; Tainter, 1988 ; Yoffee, Cowgill, 1988). L'opinion générale est que ces crises résultent d'une surexploitation du milieu par l'homme qui provoque une dégradation de la végétation et des sols, responsables du déclenchement de l'érosion et d'une chute de la production agricole (Thornes, 1987 ; Bottema, Woldring, 1990 ; Goldberg, Bar Yosef, 1990 ; Roberts, 1990 ; Van Andel, Zangger, 1990 ; Zangger, 1992). Certains auteurs se sont interrogés sur la valeur d'une telle interprétation. Ainsi Wainwright (1994) admet que des événements pluvieux exceptionnels ont pu contribuer au déclenchement de l'érosion du début de l'Âge du Bronze en Languedoc alors que Ballais *et al.* (1993) considèrent que cette phase érosive en Basse Provence résulte de conditions climatiques différentes de celles d'aujourd'hui. Provansal et Morhange (1994) ayant étudié la dynamique des paysages de Basse-Provence écrivent : « l'anthropisation apparaît donc comme un facteur insuffisant à expliquer à lui seul l'évolution morphologique régionale des talwegs ». Une cause purement naturelle a été invoquée pour expliquer la crise du début de l'Âge du Bronze au Moyen-Orient (Weiss *et al.*, 1993). La mise en évidence de ces crises repose, en particulier pour les périodes protohistoriques, sur la distribution spatiale et temporelle des sites archéologiques et les données recueillies lors des fouilles. La connaissance de ces crises et surtout de leur intensité dépendent donc en partie du degré de compréhension de la stratigraphie des sites, mais surtout de la précision des inventaires de sites à l'échelle spatiale. Ainsi Rollefson (1994) considère après la découverte d'un PPNC que la crise connue au Levant entre le PPNB et le Néolithique (se situant vers 6500 BC) ne fut pas une crise réelle, mais qu'elle s'est imposée aux archéologues en raison de l'imprécision de l'inventaire archéologique pour cette période.

Il est indéniable qu'à partir du Néolithique, l'homme a commencé à modifier la végétation par la pratique de l'agriculture, et la faune par la domestication avec une intensité en relation avec le développement des sociétés. Il est donc logique que les archéobotanistes et les archéozoologues concluent à une dégradation d'origine anthropique du milieu vivant d'autant plus qu'ils travaillent pour ces périodes pour l'essentiel sur des objets recueillis sur les sites archéologiques. Néanmoins Bradshaw (1993) a mis en cause le rôle prééminent attribué à l'homme dans les transformations de la végétation à l'Holocène.

L'impact de l'homme sur le milieu physique est plus délicat à identifier et surtout à séparer de celui des phénomènes naturels. L'axiome de base qui a prévalu et qui prévaut encore, est qu'un défrichement, suivi d'une mise en culture, provoque une érosion. Néanmoins plusieurs auteurs (Vita-Finzi, 1969 ; Ballais, 1991 ; Ballais *et al.*, 1993 ; Provansal et Morhange, 1994) constatent en Basse Provence et ailleurs dans le bassin méditerranéen que l'expansion agraire de l'époque romaine est une période de stabilité du couvert pédologique alors que la déprise rurale post-antique correspond à une érosion.

Les méthodes mises en œuvre pour appréhender l'impact de l'homme sur les sols et les paysages sont toutes indirectes, c'est-à-dire que les sols cultivés anciens ne sont en pratique jamais étudiés. De plus l'agressivité vis-à-vis du sol des systèmes de culture des époques protohistoriques et même plus récentes, n'est en général pas discutée. Cet impact sur les sols est appréhendé, soit :

1. par l'intermédiaire de données botaniques (Van Andel, Zangger, 1990 ; Zangger, 1992) tandis que l'extension des surfaces cultivées l'est à partir d'estimations démographiques basées sur le nombre et la taille des sites archéologiques (par exemple Castro *et al.*, 1994) ;
2. par une déduction de la nature et de l'intensité de l'érosion qui sont supposées traduire la dégradation des sols, à partir de l'étude de l'évolution morphologique des talwegs, des sédiments deltaïques et lacustres (par exemple Provansal et Morhange, 1994).

La dégradation des sols est inférée en s'appuyant sur des sens communs qui dénotent une méconnaissance du fonctionnement du sol (Rollefson, 1994 ; Runnels, 1995). Par exemple, Rollefson (1994) écrit : « les chèvres, capables d'arracher entièrement les plantes avec leurs racines, auraient peu à peu détruit la couche de protection des sols, laissant ceux-ci exposés aux effets du vent et de l'eau », il continue : « les chèvres auraient ainsi lentement mais sûrement détruit les fragiles systèmes d'équilibre des sols dont la formation avait pris des millénaires ». Or il est connu que la régénération physique et biologique d'un sol à partir d'un matériel parental peut se faire très rapidement, en quelques mois ou une année. Par exemple, les sols de polder aux Pays-Bas produisent des récoltes à hauts rendements trois ou quatre ans seulement après leur exondation. Le sol pour les archéologues et les géomorphologues est donc une boîte noire. L'état de surface du sol, dont les pédologues

(Bresson, Boiffin, 1990 pour les régions tempérées et Casenave et Valentin, 1989 pour les régions tropicales) ont démontré le rôle fondamental pour l'infiltration des eaux et donc pour le ruissellement et l'érosion, n'est pas pris en considération dans les études qui s'intéressent aux érosions du passé. L'érosion est estimée indirectement d'après la lithologie et l'épaisseur des sédiments. De plus, il est en général supposé qu'un dépôt sédimentaire calé par deux dates s'est mis en place de façon continue entre ces deux dates.

Les recherches entreprises dans le bassin de Vera sur les temporalités, depuis le Néolithique jusqu'aux temps présents, des interactions entre les facteurs anthropiques et naturels et sur la dynamique des sols et des paysages furent basées, à la différence des études antérieures sur :

1. le sol, plus précisément la « mémoire » du sol, qui a été considéré comme l'objet d'étude principal (la « mémoire » du sol est constituée des enregistrements dans le sol des impacts des activités humaines, comme ceux des facteurs naturels) ; les sédiments n'ont été envisagés que comme la « symétrie inverse » des sols ;
2. le fonctionnement actuel des sols replacé dans le trajectoire à long terme de la dynamique des sols et des paysages, afin de comprendre comment le forçage anthropique récent modifie l'évolution naturelle.

Plusieurs sens ont été donnés au terme de désertification (Verstraete, 1986). Dans ce travail, nous nous limiterons à l'étude de la désertification du milieu physique, c'est-à-dire à la perte de fertilité des sols et de ses conséquences (Fedoroff et Courty, 1989). Le terme de désertification a fréquemment été employé pour le sud-est de l'Espagne et tout particulièrement pour le bassin de Vera (van der Leeuw, 1994). Nous avons essayé de répondre à la double question : (1) est-il logique de parler de désertification pour cette région ? (2) si la réponse à la première question est positive, quelle est la part de l'homme dans cette désertification ?

Une échelle de temps aussi courte que possible, au mieux décennale et au pire millénaire, pour les événements naturels a été recherchée en vue d'assurer une compatibilité avec la temporalité des phénomènes sociaux, ce qui implique un croisement systématique des données pédo-sédimentaires avec les données archéologiques.

L'Espagne du sud-est a été retenue en raison de son aridité, la plus marquée que l'on connaisse en Europe, qui crée des contraintes majeures au développement du milieu vivant, végétation et faune du sol et des formes particulièrement spectaculaires d'érosion que l'on y rencontre, qui ont fait l'objet de nombreux travaux (Bork, Rohdenburg, 1981 ; Roquero, 1982 ; Thornes, Gilman, 1983). De plus, cette région au cours du dernier demi-siècle a connu une transformation radicale du mode d'utilisation des sols. L'agriculture méditerranéenne traditionnelle dépendante des précipitations a été quasi-abandonnée au profit d'une agriculture industrielle affranchie de la contrainte de l'eau grâce à l'irrigation au goutte à goutte. Le bassin de Vera (fig. 1) au centre de cette partie de l'Espagne a été sélectionné en raison d'une forte occupation humaine depuis l'Âge du Bronze particulièrement bien documentée (Lull, 1983 ; Castro *et al.*, 1994). Au cours de l'étude, il s'est avéré que le bassin de Vera possédait plusieurs autres avantages par rapport à l'objectif que nous nous étions fixés, à savoir que :

1. il est possible de suivre, pendant plus de trente ans, l'évolution de l'occupation du sol ainsi que le développement de l'érosion grâce aux photographies aériennes (dont les premières datent de 1957) et aux documents satellitaires ;
2. à l'heure actuelle, coexistent dans le bassin de Vera encore quelques parcelles cultivées de façon traditionnelle, des terrasses et des champs en friche et des parcelles irriguées au goutte à goutte dont beaucoup sont aménagées en serre froide ;
3. le bassin de Vera se situe entre deux sites instrumentés pour l'érosion et l'écologie de la végétation (El Ardal au nord et Tabernas au sud étudiés respectivement par Lopez-Bermudez, 1993, et Puigdefabregas, 1993 ; des travaux complémentaires sur ces sites ont déjà été publiés ou sont en cours de publication, (par exemple, Sanchez, Puigdefabregas, 1994) appartenant au programme MEDALUS (Thornes, 1993) et dont les résultats peuvent être en partie interpolés au bassin de Vera.

Le cadre géologique et paléogéographique

Le bassin de Vera est un bassin de sédimentation néogène interne à la Cordillère bétique, constitué de marnes et de turbidites (Ott d'Estevou *et al.*, 1990). Trois massifs mis en place au cours de la phase orogène majeure, la sierra Cabrera au sud-ouest, les sierras de Bedar et d'Almagro à l'ouest et la sierra Almagrera au nord, dominent la dépression de Vera (fig. 1). La lithologie des sédiments néogènes, mais aussi pléistocènes indique que dès la première phase orogénique l'érosion a été quasi-permanente dans cette région. Cette érosion dépendait évidemment jusqu'au Néolithique de facteurs uniquement naturels, à savoir la tectonique, le climat et ses variations, et les fluctuations du niveau de la mer.

Le bassin de Vera, comme l'ensemble de la Cordillère bétique, fait partie d'une zone tectonique active. Il est traversé par le système de failles de Palomares qui lui-même appartient à la zone de fractures de la Cordillère bétique orientale (Silva *et al.*, 1993) qui peut être comparée par son ampleur à la faille de San Andreas de Californie. Au niveau du bassin de Vera, les failles de Palomares se traduisent par une multitude de petits blocs, les uns soulevés et les autres subsidents, le long de la côte entre la sierra Almagrera au nord et l'extrémité orientale de la sierra Cabrera (Montenat, 1990). Deux phases tectoniques ont été mises en évidence au Quaternaire, la première au Pléistocène inférieur et la seconde au Pléistocène moyen (Silva *et al.*, 1993). De plus le bassin de Vera, à la différence des bassins voisins, Pulpi au nord (Aellen de la Chapelle, 1990) et Nijar au sud (Montenat *et al.*, 1990), a été dans sa globalité en surrection pendant le Pléistocène. Ce soulèvement continue actuellement ; Zazo *et al.* (1993) ont calculé une montée de 5 cm/ka pour les cent derniers millénaires. La position toujours perchée, à l'état de buttes témoins et de lambeaux de terrasses des conglomérats et les graviers cimentés par des carbonates

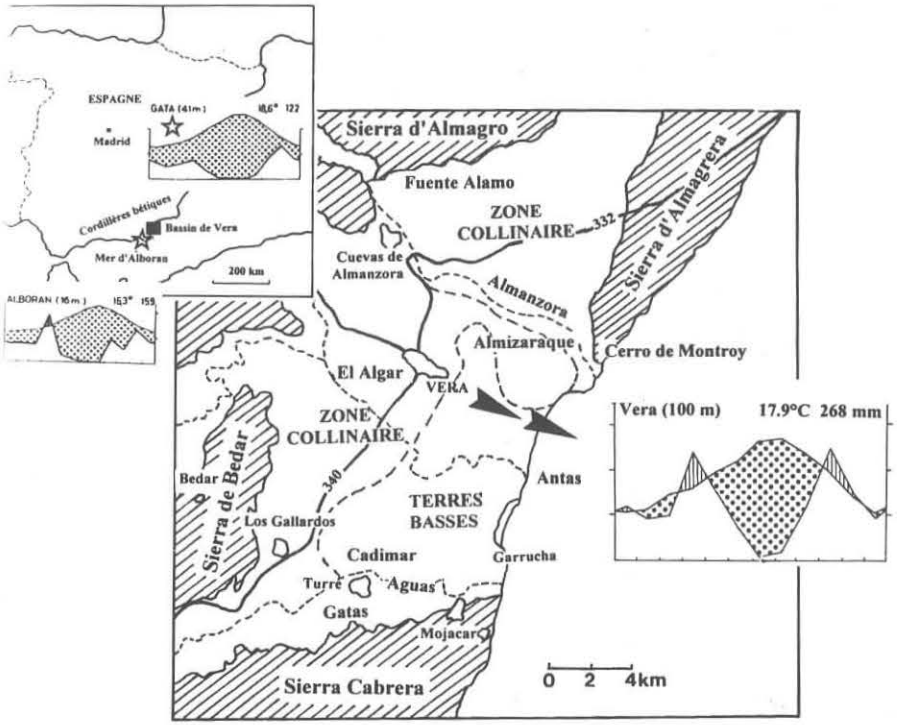

Fig. 1. Localisation et climat du bassin de Vera.

Pléistocène moyen et supérieur dans le bassin de Vera, est une preuve de ce sou-ment. Ainsi à Cabezo Largo, les conglomérats fluviatiles du Pleistocène moyen t à 78 m au-dessus de la vallée voisine. Ce soulèvement a favorisé l'érosion et tinue de la favoriser. Les conglomérats et graviers cimentés pléistocènes, en on de leur forte dissection, n'ont pas pu jouer le rôle protecteur vis-à-vis de sion pour les marnes et les turbidites du Néogène comme ils l'ont fait dans les sins de Pulpi et de Nijar.

Les fluctuations climatiques du Quaternaire ont évidemment affecté le bassin de a (Wenzens, 1992), mais l'absence d'une chrono-stratigratigraphie locale précise ir les périodes antérieures à l'occupation humaine ne permet que des corrélations ssières entre les événements climatiques globaux et les enregistrements pédo-imentaires de ces événements dans le bassin de Vera. Les fluctuations du niveau océans étroitement liées aux événements climatiques globaux ont été corrélées is la mer d'Alboran avec la morphologie et la lithologie des dépôts sous-marins y, Zazo, 1986 ; Zazo *et al.*, 1993 ; Ercilla *et al.*, 1994) qui eux-mêmes sont en cor-ation avec la morphologie côtière (Wenzens, 1991).

L'abaissement du niveau de la mer au dernier cycle glaciaire (stades isotopiques 4 à 2) associé à des conditions climatiques semi-arides à pluies violentes et erratiques provoque une érosion régressive considérable, amplifiée par le soulèvement tectonique du bassin de Vera (Courty *et al.*, 1994). Tous les sols sont érodés, souvent jusqu'à la roche saine, à l'exception des sols rouges développés sur les terrasses de grande extension, comme la terrasse de La Algarrobinas au-dessus de l'Almanzora. Les phases érosives que l'on connaît à l'Holocène sont presque négligeables par rapport à cette phase du Pléistocène terminal. Progressivement, vers la fin du Pléistocène, l'énergie des eaux dans les torrents et les rivières décroît, et les vallées se comblent progressivement par des cailloutis et des graviers. La fin de cette période est caractérisée par une sédimentation éolienne dont les dépôts sont de faible épaisseur et fortement carbonatés.

Au cours de l'Holocène ancien (c. 10000-5000 BP), le climat favorise la stabilisation des paysages ce qui permet aux sols de se développer (Courty *et al.*, 1994). Les sols de l'Holocène ancien sont caractérisés par une forte activité biologique responsable de leur structuration, une redistribution des carbonates et une légère rubéfaction. Les poussières carbonatées déposées au cours de la phase antérieure sont mobilisées dans les sols par les nappes temporaires ou permanentes ce qui conduit à la formation d'encroûtements. Les fonds des vallées deviennent marécageux, par exemple celui de l'Antas au droit du site d'El Algar, ce qui signifie des écoulements réguliers très différents des écoulements méditerranéens épisodiques que l'on connaît aujourd'hui. Le climat de cette période était donc caractérisé par des précipitations nettement plus abondantes qu'actuellement et surtout des pluies plus régulières et beaucoup mieux réparties dans l'année. Un épisode aride marqué par des accumulations de gypse a été mis en évidence vers le début de cette période qui pourrait être corrélé avec l'épisode aride et froid bien marqué dans le bassin méditerranéen (Courty, 1994 ; Parra, 1994) et à l'échelle globale (Gasse, Van Campo, 1994).

À l'échelle des temps géologiques, le bassin de Vera a donc été soumis depuis son origine au Néogène à une très forte érosion. Il doit être considéré comme une zone particulièrement instable. Cette érosion a été discontinue, liée à la tectonique, mais activée par les changements climatiques et par leur corollaire, les fluctuations du niveau des mers. Cette érosion n'a pas empêché la régénération constante des sols. Ainsi dès le Néogène, les smectites présentes dans les sédiments indiquent que des sols évolués existaient sur les reliefs avoisinants (Griveaud, 1994).

Méthodes

Les impacts des activités humaines et les effets des facteurs naturels sur le sol s'enregistrent à toutes les échelles depuis le paysage jusqu'aux échelles microscopiques. Notre approche du sol et des paysages a donc été multi-scalaire.

Étude du fonctionnement actuel des sols et des paysages

La carte pédologique classique dont le but principal est de contribuer à la production agricole ne constitue qu'une approche morpho-analytique, statique des sols. Cette carte ne fournit donc pas d'informations directes, ni sur la dynamique des sols, ni sur celle du couvert pédologique. En conséquence, nous avons appréhendé la dynamique du couvert pédologique par une carte des unités de paysage au 1/25 000e.

Carte des unités de paysage (fig. 2). Chaque unité élémentaire de paysage est définie par son substratum lithologique anté-quaternaire et (ou) sa formation superficielle quaternaire, son développement pédologique, ainsi que par son comportement hydrologique. Lorsque le substratum lithologique et (ou) les formations superficielles, souvent les deux à la fois, présentent une trop grande variabilité pour être représentés sur une carte topographique au 1/25 000e des unités complexes ont été créées. Chaque unité élémentaire de paysage a fait l'objet d'une détermination de : (1) sa sensibilité au ruissellement et à l'érosion sous les conditions climatiques présentes (selon Yassouglou, 1987 et dans une moindre mesure Fedoroff, 1987), (2) du potentiel du substratum lithologique ou des formations superficielles lorsqu'ils parviennent à l'affleurement par suite d'une érosion à régénérer un sol (tabl. 1), (3) son aptitude aux divers types d'agriculture, (4) sa sensibilité à la pollution agricole moderne. Une reconstruction de l'histoire pédo-sédimentaire surtout centrée sur l'Holocène de chaque unité de paysage a été réalisée, basée sur l'âge et la nature des formations superficielles lorsqu'elles existent et le type de sol pour lequel il a été tenu compte du degré moyen d'érosion et de remaniement pour l'ensemble de l'unité.

	1 année avec travail du sol	1 à 102 ans	102 à 10^4 ans	10^4 à 10^6 ans
cohésion ou (et) degré de cimentation	sans cohésion et non cimenté, ex. loess	légère cohésion, ex. marnes	forte cohérence (et) cimentation ou moyenne, ex. calcaire crayeux	roches très cohérentes ou (et) fortement cimentées, ex. calcaires durs, quartzites
porosité initiale	élevée	élevée à faible	faible	nulle
nature des argiles	-	éclatement de la roche par gonflement des smectites	-	-
nature et abondance des minéraux altérables	-	très nombreux minéraux altérables, ex. sérécite	assez nombreux minéraux altérables	rares ou absence de minéraux altérables
présence de sels solubles	-	éclatement de la roche par remontée des sels (en climats semi-arides)	-	-

Tabl. 1. Grille pour l'estimation de l'aptitude d'une roche ou d'une formation à régénérer un sol.

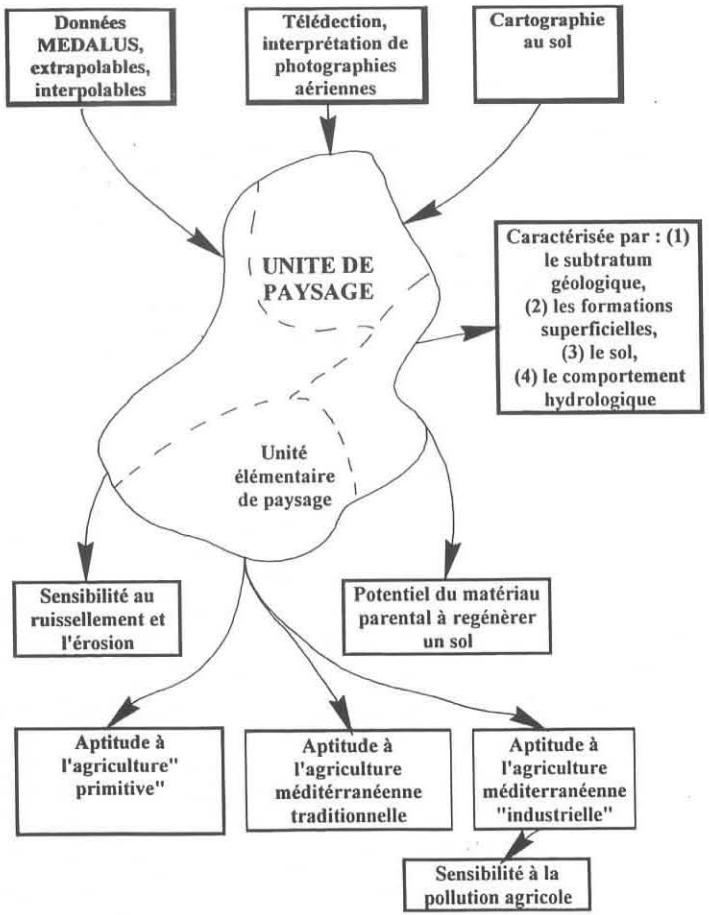

Fig. 2. Carte des unités de paysage. Mode d'établissement. Applications.

Ces unités de paysage ont été définies et délimitées sur les photographies aériennes de 1957, puis comparées aux unités obtenues par télédétection à partir des images satellitaires SPOT (Girard, 1993) et enfin chaque unité a été contrôlée au sol. Les unités lithologiques du substratum anté-quaternaires prises en considération sont celles de la carte géologique au 1/50 000e (feuilles de Garrucha, Mojacar, Sorbas et Vera) et de la carte du Néogène de Montenat (1990). La carte pédologique au 1/100 000e (feuilles de Garrucha, Mojacar, Sorbas et Vera) a également été consultée, mais nos prospections de terrain ont montré que les limites des unités de cette carte en raison de la faible densité des observations (une observation par 10 km², communication orale J. Fernandez) étaient imprécises et de ce fait nous n'avons pas pu le plus souvent prendre en considération les contours des unités figurant sur cette carte.

Élaboration d'un référentiel des traits et des organisations résultant de l'agriculture méditerranéenne traditionnelle et de la déprise agricole. Dans chaque unité de paysage, des parcelles ou (et) des terrasses en friche ont été recherchées, puis comparées à des parcelles encore cultivées traditionnellement. L'état de surface de chacune de ces parcelles et de ces terrasses a fait l'objet d'un examen, puis nous avons classé ces états de surface selon la typologie de Casenave et Valentin (1989). Les figures d'érosion ont été étudiées : (1) à la surface de la parcelle ou de la terrasse, (2) aux abords des murets et dans les murets des terrasses, (3) en aval des parcelles et des terrasses. Des échantillons non perturbés de la surface du sol, ainsi que des horizons superficiels ont été prélevés en vue d'une étude micromorphologique. Les sols des unités irriguées par les eaux de crue chargées en limon ont également fait l'objet d'une étude comportant une description de terrain, une caractérisation analytique et un examen micromorphologique. Un référentiel des traits et des organisations provoqués par les diverses activités agricoles, en y incluant les effets de l'abandon a été établie.

Référentiel des traits et des organisations résultant de facteurs naturels. Bullock *et al.* (1985) propose un référentiel des traits pédologiques tandis que Fedoroff et Courty (1994) ont présenté des exemples d'organisations pédologiques. Ces deux référentiels ont servi de base à nos travaux. Il est à noter que ces référentiels sont purement descriptifs. Un exemple d'approche mécaniste des traits et des organisations pédologiques pour une zone semi-aride a été donné dans Courty (1994). En région instable, comme l'est le bassin de Vera, une approche purement pédologique les sols ne permet pas de comprendre leur dynamique à travers le temps. Il est donc aussi nécessaire d'examiner les sols d'un point de vue sédimentaire d'où l'utilisation du concept de faciès pédo-sédimentaire proposé par Courty (1994). Il a été fait appel à Folk (1959), Humbert (1976) et Freytet (1984) pour caractériser ces faciès pédo-sédimentaires. Certains traits et organisations peuvent avoir une origine ubiquiste, par exemple les croûtes de surface qui sont connues comme étant la conséquence de pratiques agricoles, mais qui ont été aussi observées dans des formations datant d'époques où l'agriculture était inconnue (voir par exemple Guo, 1990). Les critères qui ont servi à différencier les traits et les organisations d'origine naturelle de ceux d'origine anthropique sont les suivants : (1) le développement des traits et des organisations d'origine anthropique au cours de la période actuelle constitue un maximum qui n'a jamais été atteint dans le passé (voir la discussion ci-dessous), (2) les phénomènes naturels produisent des traits et des organisation plus réguliers que l'activité humaine, (3) les organisations excrémentales naturelles présentent une plus grande biodiversité que celles qui sont anthropisées (Ordaz, 1995).

Reconstitution de la dynamique des sols et des paysages du passé

Une telle reconstitution suppose comme pré-requis un cadre chronologique à la fois stratigraphique et culturel à pas de temps aussi court que possible prenant en

compte, à la fois les phénomènes de sociétés pour lesquels le pas de temps est au maximum celui de la génération, et les facteurs climatiques que l'on croyait se modifier lentement avec un pas de temps de l'ordre de 10^3 à 10^4 (Berger, 1988). Mais des résultats récents ont montré que ces modifications pouvaient se produire en quelques dizaines d'années, voire en quelques années (Jansen, Veum, 1990). En effet, si l'on désire confronter l'impact respectif des événements anthropiques et naturels sur les sols et les paysages, il est indispensable de caler avec le maximum de précision ces événements à la fois temporellement et les uns par rapport aux autres. Un cadre chrono-culturel (tabl. 2) a été bâti à partir des données archéologiques existantes, des dates radiométriques obtenues par luminescence infrarouge stimulée et de corrélations stratigraphiques (Courty *et al.*, 1994). Les témoins pédo-sédimentaires de chaque période culturelle ont été recherchés (fig. 3). Ce sont, d'une part les sols enterrés sous les sites archéologiques et d'autre part, hors de ces sites, les sols anciens, les paléosols et les pédo-sédiments.

L'interprétation des traits et des organisations recelés dans les sols enterrés sous les sites archéologiques permet de reconstituer le fonctionnement de ces sols avant l'occupation du site. Ce fonctionnement est indicateur des conditions environnementales, en particulier climatiques qui régnaient à cette période. Ces sols enterrés peuvent être vierges, ou renfermer des traces, soit de défrichement, soit de mise en valeur agricole. Dans quelques cas, les sédiments archéologiques eux-mêmes ont été prélevés en vue de caractériser l'évolution des conditions environnementales pendant les phases successives d'occupation du site.

Hors des sites archéologiques, seules les formations superficielles et les sols de la transition Pléistocène-Holocène et de l'Holocène, datés par luminescence infrarouge stimulée (Bailiff, 1992) ont été étudiés. De nombreuses coupes naturelles existent dans le bassin de Vera pour cette période géologique ; elles sont situées dans des bassins de piémont colmatés au Pléistocène terminal et à l'Holocène ancien, généralement par des pédo-sédiments provenant de l'érosion de sols des sierras ayant subi postérieurement des transformations post-dépositionnelles. Des sols anciens ont été aussi protégés par les murets des terrasses. Les sédiments des basses vallées de l'Aguas, de l'Antas et de l'Almanzora, datés de l'Holocène (Hoffman, 1988), ont été prélevés par carottage en vue d'une étude de l'origine des sédiments et de la linéarité de la sédimentation et de sa vitesse.

La reconstitution du paysage caractérisant chaque période culturelle a été réalisée en prenant comme base la carte des unités de paysage et en extrapolant pour chacune de ces unités les résultats ponctuels obtenus sur les sols enterrés sous les sites archéologiques et hors des sites.

La précision de la méthode utilisée (fig. 3) pour reconstituer l'évolution pédo-sédimentaire et évaluer les temporalités des impacts respectifs de l'homme et des facteurs environnementaux sur les sols et le paysage dépend de : (1) la résolution du cadre chrono-culturel, (2) du nombre de sites archéologiques prospectés pour

Séquence culturelle ou géologique	Érosion-sédimentation	Fonctionnement des paysages et des sols	Inférences sur le climat	Influence anthropique
Holocène ancien (10 000- 6000 BP)	quasi-absence d'érosion	stabilité des paysages, développement des sols, fonds des vallées marécageux ; aggradation de gypse au cours de la phase aride	précipitations régulières et abondantes ; une phase aride vers 8000 BP	-
Néolithique récent (6000-4300 BP)	érosion modérée sur les reliefs, incision des vallées	relative stabilité de la couverture pédologique	passage du régime à précipitations régulières au régime méditerranéen à pluies d'hiver	-
Chalcolithique (4300-3800 BP)	*idem*	bonne stabilité structurale et de la couverture pédologique	climat méditerranéen à fort contraste saisonnier	faible
Crise de l'Argarique ancien (2300-1960 CAL BC)	érosion intense, très fortes incisions	feux, déstabilisation des sols, colluvionnement boueux ; formation de bad-lands	crise climatique caractérisée par des sécheresses et des pluies torrentielles	négligeable
Argarique récent (1960-1550 CAL BC)	flux de sédiments faible	cicatrisation de la couverture pédologique	retour au régime méditerranéen	faible
Post-Argarique (1350-700 CAL BC)	flux de sédiments faible à moyen	stabilité des sols modérée	relative sécheresse avec faibles pluies d'hiver	faible
Colonisation phénicienne, romaine à période visigothe-byzantine	flux de sédiments modéré, érosion en rill et en nappes	faible stabilité structurales mais régénération rapide des sols	relative sécheresse, étés chauds	élevée localement
Période andalouse (718-770-1550)	flux de sédiments faible	stabilisation des paysages, recharge des nappes phréatiques	réchauffement, quelques rares événements pluvieux violents	modérée
Temps modernes (de la reconquête à 1950)	flux de sédiments en croissance avec l'extension des terres cultuvées, liée à la démographie	érosion permanente des sols cultivés, corrigée par des travaux	-	croissance exponentielle
Révolution agricole (1950-1994)	ralentissement du flux sédimentaire avec la déprise agricole	érosion en griffes sur les terrasses en friche sur marnes, restauration lente de la structure	-	quasi-nulle sur les terres en déprise, intense sur les parcelles en ferti-irrigation

Tabl. 2. La dynamique des sols et des paysages dans leur cadre géologique pour l'Holocène ancien et chrono-culturel à partir du Néolithique récent (d'après Courty *et al.*, 1994).

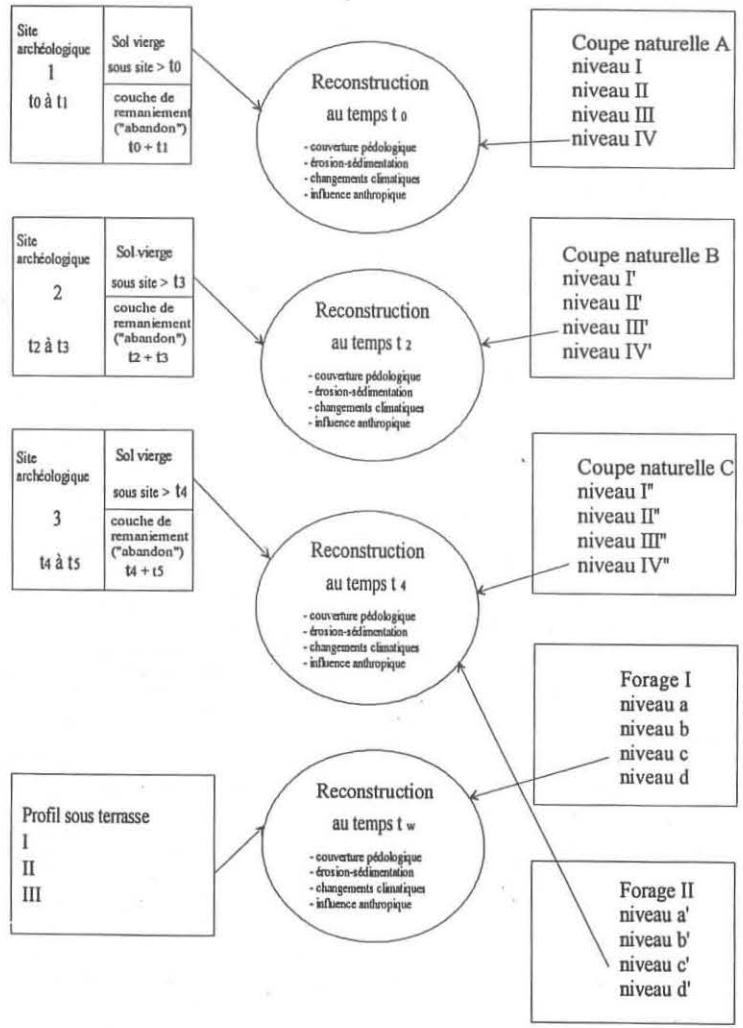

Fig. 3. Méthode de reconstitution des paléo-paysages.

chaque période culturelle, de leur répartition spatiale et de leur degré de préservation, (3) du degré de calage par rapport aux périodes culturelles des sols enterrés sous les sites archéologiques et des sédiments, (4) du degré de conservation des enregistrements dans les sols enterrés.

Les lames minces nécessaires aux observations microscopiques ont été fabriquées selon la méthode de Guilloré (1985) tandis que l'analyse granulométrique et les analyses chimiques (pH, capacité d'échange, cations échangeables) furent effectuées au laboratoire d'analyses des sols de l'INRA à Arras.

Résultats et discussion

L'influence anthropique sur les sols et les paysages à l'époque contemporaine

La situation en 1957. Les photographies aériennes de 1957 ont saisi le bassin de Vera au moment où celui-ci était à son maximum d'utilisation par l'agriculture méditerranéenne traditionnelle. À ce moment :

1. Les basses vallées de l'Aguas, de l'Antas et de l'Almanzora étaient irriguées par épandage de crues avec sédimentation contrôlée des limons en suspension dans les eaux de crue. Des barrages en terre construits dans les lits des rivières dérivaient par un système de canaux les eaux chargées en limons vers les parcelles en culture (fig. 4). Des sols ont été réalisés de main d'homme, des cumuliques anthroposols (selon la légende FAO, 1988) par accumulation des limons ; leur épaisseur est de l'ordre du mètre près du site d'Almizaraque dans la basse vallée de l'Almazora. Les étangs qui existaient à l'arrière du littoral ont été comblés, mais en raison de la salinisation, certaines des zones proches du littoral, les *salars,* des Solontchak à gley, ont échappé à la mise en valeur agricole.

2. Les terrasses planes ou en très faible pente surplombant les trois vallées n'avaient pas subi d'aménagement particulier et étaient pour la plupart cultivées en sec, irriguées seulement aux endroits où des eaux pérennes étaient disponibles (par exemple le périmètre de la Casa El Cimbre à l'ouest de Vera).

3. Les zones collinaires correspondant à l'affleurement des marnes et des turbidites du Néogène, à l'exception des zones en forte pente, étaient entièrement stabilisées par des terrasses, principalement par des *bancales,* terrasses construites perpendiculairement aux vallées sèches (fig. 4).

4. Les zones collinaires érodées sur les marnes et les turbidites, les *bad-lands,* comme les collines érodées sur des matériaux plus durs (conglomérats du Plio-Pléistocène et roches volcaniques), étaient probablement pâturées extensivement par les caprins et les ovins. Néanmoins les fonds de vallons des *bad-lands* étaient aménagés en *bancales.*

5. Les sierras qui dominent le bassin de Vera, aux endroits où la pente et la présence d'un sol le permettent, avaient également été aménagées en terrasses. Les torrents avaient été captés et leurs eaux étaient dirigées sur ces terrasses où les limons en suspension s'accumulaient.

Les photographies aériennes de 1957 montrent donc un paysage profondément modelé par les agriculteurs qui avaient terrassé les collines ainsi qu'une partie des sierras et qui avaient ainsi contribué à combler et à aplanir les basses vallées. À l'échelle des photographies aériennes, on n'observe pas de signes d'érosion sur les terrains aménagés. Il est donc possible de conclure qu'en 1957 dans les zones cultivées, les agriculteurs contrôlaient la macro-érosion.

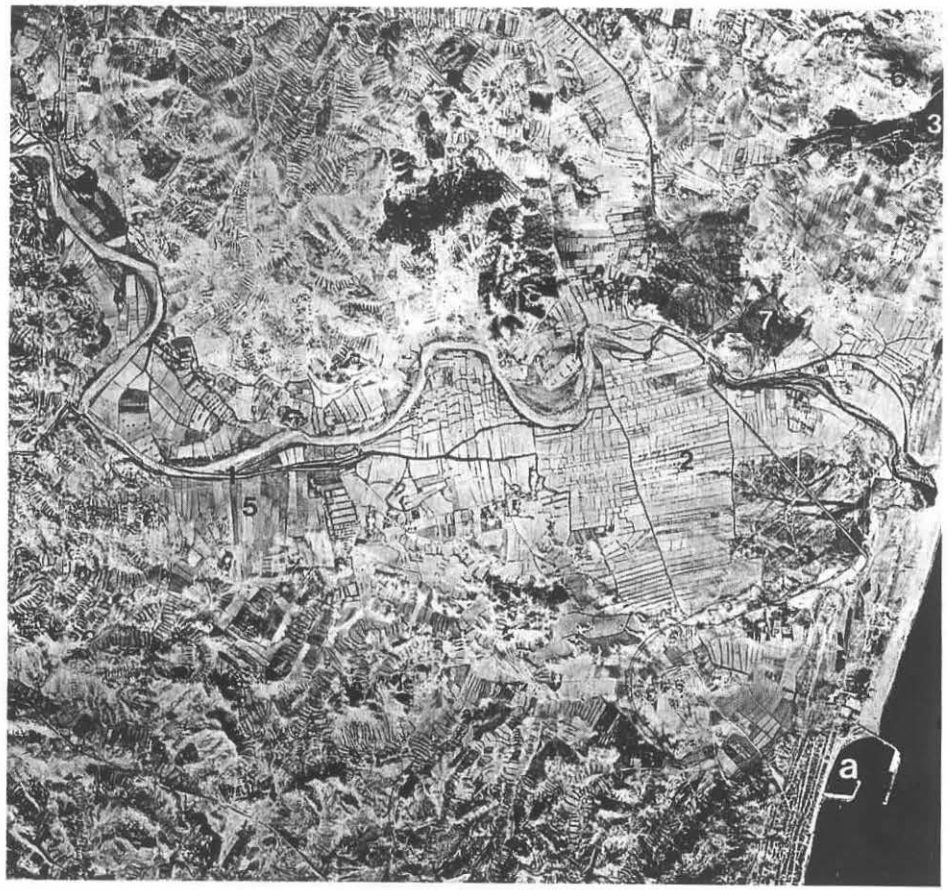

Fig. 4. Photographie aérienne de la basse vallée de l'Antas.
a. Port de Garrucha. **1.** Prise d'eau du canal d'épandage des eaux de crue. **2.** Zone d'épandage des eaux de crue (La Esperanza). **3.** *Salars* de la Esperanza et de los Carros. **4.** *Bancales* sur marnes et le horst de Garrucha. **5.** Basses terrasses de l'Antas et los Amarguillos. **6.** Lambeau de la haute terrasse de Cabezo Largo. **7.** Affleurement de basaltes sur marnes.

La déprise agricole. La comparaison des photographies aériennes de 1957 avec les images satellitaires Spot XS du O9/05/87 et SPOT panchromatique du 25/10/92, complétée par un contrôle au sol en 1993 a mis en évidence une déprise considérable de l'espace rural consécutive au quasi-abandon de l'agriculture méditerranéenne traditionnelle. Cette déprise a affecté préférentiellement : (1) les terrasses de montagne malaisées à mécaniser et en même temps d'accès difficile, par exemple les cortijo de El Charco et de La Bermeja dans la sierra Cabrera, (2) les sols peu profonds à faibles réserves en eau utilisés en cultures pluviales, par exemple ceux des

collines sur marnes et turbidites à régosols calcariques à l'est de la route nationale 332 et au nord de l'Antas (Los Llanos de Rosa et Pago de la Loma).

Les sols labourés à l'abandon se caractérisent par : (1) une croûte de surface continue sans trace d'activité biologique, se prolongeant en profondeur par une couche compacte de quelques centimètres d'épaisseur, (2) une colonisation des croûtes de surface par des végétaux inférieurs (algues et lichens, fig. 5), (3) une végétation rudérale évoluant au fil des ans (Courty *et al.*, 1994). Les croûtes de surface et la végétation secondaire varient en fonction de la texture du sol et des précipitations. Les croûtes de surface sont au minimum de leur développement et de leur stabilité sur les sols limoneux construits par épandage d'eaux de crue et au contraire à leur maximum d'épaisseur et de compacité sur des matériaux argilo-sableux comme ceux de la basse terrasse de Los Amarguillas près de Puerto Rey. Sur les régosols calcariques développés sur marnes et turbidites, leur développement est faible à moyen. Le développement de la végétation sur les terres à l'abandon est fonction des réserves en eau du sol (liées à la profondeur et à la texture de celui-ci) et des précipitations. Ainsi sur les régosols calcariques développés sur marnes et turbidites, le taux de couverture se situe entre 10 et 30 % tandis que sur les terrasses à

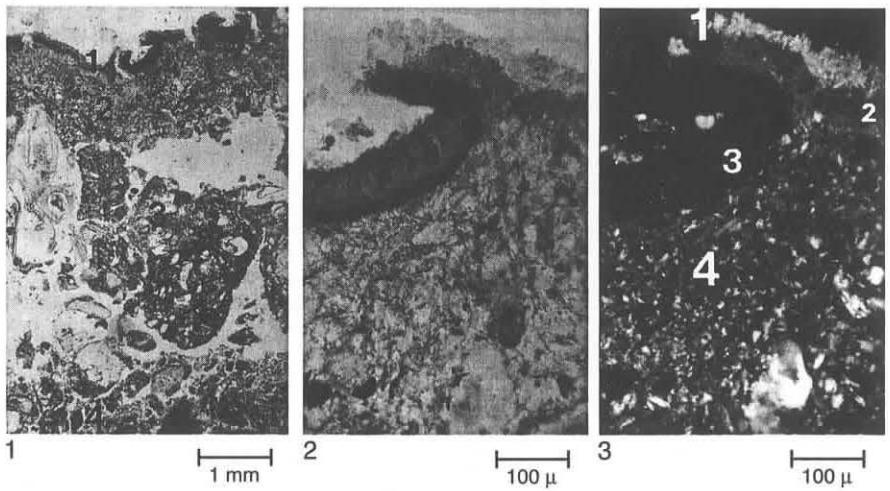

Fig. 5. Morphologie d'une croûte de surface développée dans une friche ancienne.
1. Vue générale de la croûte à faible grossissement. On distingue de haut en bas : 1. une pellicule de surface continue, épaisse de 250 µm, formée de thalles cryptogamiques, 2. la croûte proprement dite, à structure massive, épaisse de 1 mm, 3. un sous-horizon à entassement de turricules de vers de terre, (4) un horizon à organisation excrémentale tassée qui se prolonge au-delà de la photographie. **2 et 3.** Vue de la partie supérieure de la croûte en lumière naturelle et lumière polarisée à fort grossissement. On distingue de haut en bas : (1) une pellicule de cristaux d'oxalate de calcium, épaisse de 70 µm, à forte biréfringence, (2) une pellicule d'organismes chlorophylliens de couleur verte (sombre en noir et blanc), (3) latéralement un thalle, (4) la croûte minérale de surface, presque totalement décalcifiée.

limons de la sierra Cabrera, où les précipitations sont plus élevées qu'en plaine, la couverture est en général totale.

Après leur abandon les sols sont donc stabilisés par des croûtes de surface colonisées par des végétaux inférieurs. Le piétinement des ovi-capridés n'est en général pas suffisant pour briser ces croûtes, en raison de la quasi-disparition des troupeaux. Les sols en déprise tendent à plus long terme vers une restauration de leurs caractères biologiques et structuraux. Cette restauration est liée à leur reconquête par la végétation. Les plantes annuelles, par le chevelu racinaire, favorisent la restructuration des horizons superficiels tandis que les espèces buissonnantes colonisent des horizons plus profonds. Cette restauration est donc liée à la vitesse de recolonisation des terres à l'abandon par la végétation.

L'érosion consécutive à la déprise agricole n'est pas détectable aux échelles des documents satellitaires, étudiée par comparaison des photographies aériennes de 1957 et des images SPOT, sauf un point du bassin de Vera (une zone d'un km² située au-dessus du lit de l'Antas, immédiatement à l'ouest de la route nationale 332, km 204 à 205). Les observations au sol montrent que les sols à l'abandon sur régosols calcariques sur marnes et turbidites sont les plus sensibles à l'érosion. Les eaux de ruissellement y provoquent dans l'ordre : (1) une érosion en soutirage localisée au niveau des murets pouvant entraîner un effondrement partiel de ceux-ci, (2) une érosion remontante en griffes dont le point de départ est en général un muret de terrasse. Les terrasses à l'abandon de la sierra Cabrera, constituées de limons d'épandages de crue, ne présentent pas de traces d'érosion. Une comparaison des *bad-lands* sur les photographies aériennes de 1957 et au sol en 1993 n'a permis de mettre en évidence, ni une progression vers l'amont des incisions, ni un approfondissement de celles-ci. L'aménagement en *bancales,* localement plantés en agrumes, du fond des incisions les plus larges (par exemple celles faisant face au village d'Antas) indique une relative stabilité des *bad-lands* aux échelles de temps courtes.

La déprise agricole n'a donc induit que des phénomènes érosifs localisés et d'intensité faible à moyenne. Nos observations montrent que quatre paramètres favorisent cette érosion qui sont par ordre d'importance : (1) la pente, (2) la texture et la stabilité structurale des horizons Ap qui déterminent la stabilité de la croûte de surface et l'épaisseur de l'horizon pris en masse sous-jacent, (3) la profondeur d'un substratum induré résistant à la désagrégation, (4) la vitesse de reconquête des terres abandonnées par la végétation.

L'agriculture « industrielle ». L'agriculture « industrielle » qui a relayé l'agriculture traditionnelle ne concerne que des surfaces limitées (quelques pourcents de la surface du bassin de Vera), comme d'ailleurs les activités liées au tourisme. Elle est pratiquée en général sur des surfaces planes (par exemple la basse vallée de l'Almanzora, la terrasse de Palomares), mais des collines ont été aussi aménagées pour des cultures fruitières. Cette agriculture « industrielle » nécessite des travaux d'aménagement considérables qui consistent en : (1) la création de sols artificiels

sableux, sauf dans les basses vallées où les anthroposols sur limons d'inondation sont suffisamment filtrants, (2) le modelage au bulldozer des collines pour la plantation des arbres, (3) la construction de réservoirs d'eau sur les hauteurs. Cette agriculture à l'inverse des précédentes est très polluante, d'une part par les pesticides et les engrais utilisés à hautes doses et d'autre part par les déchets de toutes sortes qu'elle laisse derrière elle. À l'heure actuelle, l'impact global de cette agriculture dans le bassin de Vera, en raison de sa faible extension et de sa concentration dans la vallée de l'Almanzora, est limité. Il est surtout d'ordre esthétique, néanmoins la pollution des eaux phréatiques ne peut être ignorée.

Le rôle respectif des facteurs anthropiques et naturels sur la dynamique des sols et des paysages du Néolithique à l'époque moderne

Dans aucun des sols enterrés et des pédo-sédiments étudiés, il n'a été observé de traits et d'organisations, même à l'état de fragments, comparables à ceux caractérisant les effets sur le sol de l'agriculture méditerranéenne traditionnelle à son optimum et la déprise qui l'a suivie.

L'établissement du régime méditerranéen au Chalcolitique

Au cours du Chalcolitique, la dynamique des vallées change. On passe des écoulements permanents et réguliers, auxquels correspondent des vallées marécageuses avec accrétion de carbonates caractéristiques de l'Holocène ancien, à des écoulements chenalisés avec incision et une érosion modérée sur les reliefs. L'accrétion des carbonates généralisée au cours de l'Holocène ancien se réduit considérablement. Les sols présentent une structure micro-aggrégée dense, témoin d'une ouverture du couvert végétal et du maintien d'un tapis herbacé favorable au maintien de surfaces stables (Courty *et al.*, 1994). Ce changement traduit l'évolution du climat à précipitations régulières et abondantes et à forte évapotranspiration, caractéristique de l'Holocène ancien, à un climat de type méditerranéen plus frais, à fort contraste saisonnier à pluies d'hiver.

La crise de l'Argarique ancien, 2300-1960 Cal BC (Bronze ancien)

Les témoins de cette crise ont été identifiés dans le dernier complexe stratigraphique du site chalcolithique d'Almizaraque et dans les premiers niveaux d'occupation des sites argariques (phases I et II) de Fuente Alamo et de Gatas (fig. 1) ce qui a permis de dater cette crise de 2300 à 1960 Cal BC. Ces témoins ont été corrélés stratigraphiquement avec une couche colluviée observée dans une coupe du rio Anofli et dans une terrasse agricole érodée à El Charco (Courty *et al.*, 1994). Ces témoins dans tous les sites se différencient très nettement à la fois du niveau sous-jacent qui est en situation naturelle un sol calcique bien structuré et du niveau sus-jacent.

Dans le site archéologique de Gatas, ces témoins sont représentés du bas vers le haut par (1) une couche à pellets sub-arrondis de la taille des sables mélangés à une masse schisteuse qui dans la zone B du site repose sur des cendres, (2) une masse grise, dense schisteuse à nombreuses vésicules et vides polyconcaves à intercalations de sables et de fins graviers. La couche colluviée dans la terrasse d'El Charco, comparable à la masse schisteuse à vésicules du site de Gatas, recouvre un horizon humique brûlé. Dans la coupe du rio Anofli, un dépôt torrentiel mal trié et stratifié irrégulièrement a été observé.

À Fuente Alamo, reposant sur un sol calcique à microstructure biologique bien développée, on observe pour cette période : (1) des agrégats humiques brûlés du sol calcique, (2) un lit fin de poussière éolienne, (3) un niveau graveleux, épais de 50 cm, à matrice fine rare et peu structurée.

Les sédiments qui correspondent à l'abandon du site d'Almizaraque, événement qui s'est produit à cette même période, sont constitués d'un entassement lâche d'agrégats de briques crues au sein duquel sont présents des pellets sub-arrondis, de fins fragments charbonneux, des cendres de végétaux herbacés, des diatomés et des foraminifères. Des cristaux de gypse, distribués au hasard, sont également présents. À leur sommet, ces sédiments sont plus cohérents et renferment des fragments de croûte de battance.

En zone de piémont et sur les sierras, on observe localement une déstabilisation des sols corrélée stratigraphiquement à cette période (Courty *et al.*, 1994).

Les témoins indiquent que la crise a débuté par des feux qui ont brûlé la surface des sols, la végétation dont on retrouve les restes sous forme de cendres et de charbons et aussi des habitations. Les poussières éoliennes et les pellets résultent d'une forte activité éolienne qui fut contemporaine des feux. Le caractère dense, les vésicules et les vides polyconcaves du niveau gris indiquent une saturation en eau des sols qui a provoqué un effondrement des structures pré-existantes. La couleur grise traduit un engorgement en milieu réducteur. Le niveau gris correspond donc à un épisode pluvieux au cours duquel les sols et en particulier les horizons inférieurs ont été saturés en eau ce qui implique des pluies considérables et éventuellement des chutes de neige sur les sierras. À l'échelle du paysage, cette saturation a provoqué des décollements de la couche meuble, saturée en eau qui a glissé sur la roche saine. L'étude de la couverture pédologique du bassin de Vera montre que cette saturation en eau des sols, les glissements de terrain qui en résultent et aussi une érosion en griffes considérable, ont affecté les sols et les roches sensibles à l'érosion comme le sont les roches métamorphiques aisément altérables, les marnes et les turbidites. L'accrétion des deltas dans les piémonts, par exemple celui du Rambla Ancha au pied du site de Gatas, s'interrompt brusquement à ce moment tandis que leur incision commence. Les *bad-lands* sur marnes et turbidites, par exemple ceux autour du site d'El Algar, se développent probablement aussi durant cette crise.

Les causes de cette crise ne sont pas complètement élucidées, mais aucun des traits et les organisations qui en résultent ne peuvent être d'origine anthropique

en raison à la fois de leur morphologie et de leur développement. L'origine des feux, d'une intensité exceptionnelle, doit être éclaircie, mais elle n'est pas d'origine anthropique.

Cette crise est connue dans le bassin méditerranéen, par exemple en Languedoc où elle a été interprétée comme la conséquence d'une surexploitation du milieu par l'homme associée à des événements pluvieux d'une grande violence (Wainwright, 1994), mais aussi en Méditerranée orientale (van Andel, Zangger, 1989 ; Bottema, Woldring, 1989 ; Roberts, 1989) où une origine purement anthropique est attribuée à cette crise. Néanmoins Bottema et Woldring (1989) constatent à l'ouest de la Turquie une anomalie dans la végétation à cette période qu'ils interprètent comme une intensification des vents suite à une élévation des températures estivales. Récemment Weiss *et al.* (1993) ont décrit, à cette même époque dans le nord-ouest de la Mésopotamie, une aridification soudaine qui a persisté trois cents ans et qui s'est manifestée entre autres par une intensification des vents due à un réchauffement de l'air. Il s'agirait donc d'un phénomène global, comme le constate Gasse et Van Campo (1994), qui a affecté l'ensemble du bassin méditerranéen. Nos résultats montrent sans ambiguïté que l'homme a subi ce phénomène et qu'en aucun cas il ne l'a induit.

L'évolution du bassin de Vera de la crise de l'Argarique ancien aux temps modernes

Après la crise de l'Argarique ancien, les sols et les paysages se cicatrisent sous un régime méditerranéen comparable à celui du Chalcolitique. Ce régime méditerranéen se poursuit avec des fluctuations qui apparaissent mineures dans le bassin de Vera jusqu'à aujourd'hui. La période dite de colonisation, correspondant aux occupations du sud-est de l'Espagne par les Phéniciens, les Romains, les Wisigoths et les Byzantins est globalement caractérisée par une érosion modérée en rigoles et en nappes tandis que la stabilité structurale des sols est faible, mais la régénération est rapide. Une phase d'érosion et de sédimentation a été détectée antérieurement à l'occupation romaine sur le site romain de Cadimar et une seconde, qui serait contemporaine de la période byzantine, a été détectée sur le site de Cerro de Montroy. La période andalouse est caractérisée par une décroissance des processus d'érosion à laquelle correspond un développement des sols (formation de masse fine et accrétion des carbonates) indiquant un climat relativement chaud, favorable à l'évapotranspiration.

Conclusions

Les résultats obtenus sur les sols actuels du bassin de Vera conduisent à nuancer l'opinion couramment admise que les sols du sud-est de l'Espagne et plus généralement des régions à tendance aride du bassin méditerranéen, se dégradent sous l'influence de l'homme et que l'on tend vers une désertification. L'impact anthropique sur les sols et les paysages que l'on constate de 1957 à aujourd'hui constitue

un maximum d'un accroissement exponentiel, en relation avec la progression de la population rurale qui a atteint son maximum dans le bassin de Vera au siècle dernier et au début de ce siècle (Castro *et al.*, 1994). Ce forçage anthropique moderne des sols est exceptionnel en comparaison avec celui des périodes antérieures. Ce caractère exceptionnel a été noté ailleurs dans le bassin méditerranéen par des approches différentes (Barmawidjaja *et al.*, 1995).

L'agriculture méditerranéenne traditionnelle, qui est encore pratiquée sous une forme modernisée sur les sols les plus favorables du bassin de Vera, conduit à un appauvrissement relatif de l'écosystème du sol, à une baisse du taux de matière organique et par voie de conséquence à une moindre cohésion des horizons superficiels, donc à une relative dégradation des sols. La mise à nu des sols combinée à la moindre cohésion favorisent inévitablement l'érosion. Les terres sous culture sont demeurées sous le contrôle des agriculteurs grâce à : (1) un système de terrasses qui réduisent le ruissellement et l'érosion, empêchant le développement des *bad lands*, (2) des zones d'épandage de crues.

Le bassin de Vera constitue aussi un bon exemple des possibilités de régénération de sols sur des substrats ayant perdu leur sol par érosion. Ainsi sur les marnes et les turbidites non gréseuses, un agriculteur reconstitue une couche meuble cultivable après seulement quelques passages d'outils. En général, dans la littérature traitant de l'érosion, les auteurs insistent sur les surfaces de sol perdues par érosion, mais en face de ces chiffres, ils ne mentionnent pas les surfaces susceptibles de régénérer un sol dans un délai rapide.

La déprise agricole consécutive au déclin de l'agriculture méditerranéenne traditionnelle, qui concerne la majeure partie du terroir du bassin de Vera, provoque dans un premier temps une dégradation des sols par formation de croûtes de surface et de prise en masse superficielle, mais dans un second temps on assiste à une restauration lente des propriétés des sols. L'imperméabilisation qui résulte de la formation des croûtes de surface et de la prise en masse induit un ruissellement et une érosion dont les effets restent limités. La restauration des sols débute par une colonisation des croûtes de surface par des végétaux inférieurs en même temps qu'une végétation rudérale éparse envahit progressivement les parcelles à l'abandon. La reconquête par cette végétation est d'autant plus rapide que la texture du sol est légère et que les précipitations sont plus élevées. Cette végétation rudérale est sensible aux incendies, mais les apports en éléments nutritifs consécutifs aux incendies sont à même de stimuler la croissance de la végétation. La déprise agricole ne conduit donc pas à la désertification.

L'agriculture industrielle intensive à forte valeur ajoutée ne concerne qu'une superficie limitée du bassin de Vera. Par le modelage du terrain et la création de sols par apport de sables, cette agriculture transforme les sols et les paysages. Elle pollue aussi considérablement les sols et les eaux phréatiques par la grande quantité d'intrants utilisés (engrais, pesticides). Le bassin de Vera, en comparaison des autres bassins du sud-est de l'Espagne, comme par exemple le Campo de Nijar, est resté relativement à l'abri de ce type d'agriculture. Il faut noter qu'à la différence des

régions tempérées, comme les plaines céréalières de la France où le passage de l'agriculture traditionnelle à l'agriculture « industrielle » a été très progressif sans déprise des terres cultivées, ces régions du sud-est de l'Espagne sont passées sans transition d'une agriculture traditionnelle extensive peu rentable à une agriculture « industrielle » à haut degré d'artificialisation avec une déprise considérable des terres. À l'avenir, une évaluation précise de l'impact de cette agriculture sur les sols et surtout les eaux souterraines nous paraît être une priorité absolue.

Les aménagements considérables qui ont été effectués au cours des temps modernes sur l'ensemble du territoire cultivable du bassin de Vera tel qu'on peut les voir sur les photographies aériennes de 1957 ont effacé ou masqué les traces des agricultures anciennes.

Pour l'essentiel, les paysages du bassin de Vera ont été façonnés au Pléistocène et au cours de périodes encore plus anciennes. La tectonique particulièrement active dans le sud-est de l'Espagne a été l'agent moteur essentiel de ce façonnement, les variations climatiques et leur corollaire les fluctuations du niveau marin, étant responsables des alternances crises érosives/stabilisation du paysage.

Le bassin de Vera a été sous l'influence, à l'Holocène ancien, d'un climat plus humide que l'actuel à pluies régulières bien réparties, qui a favorisé le développement des sols et l'engorgement des vallées. À partir du Chalcolithique, s'installent les conditions méditerranéennes que nous connaissons aujourd'hui. Deux événements climatiques majeurs dont la durée ne dépasse pas quelques siècles ont marqué les sols et les paysages du bassin de Vera. Le premier, correspondant à une aridification, se situe à l'Holocène ancien tandis que le second, daté de 2300 à 1960 Cal BC, s'est traduit par des incendies de forte intensité, une déstabilisation des sols accompagnée de colluvionnements boueux, de fortes incisions avec formation de *bad-lands*. Des phases mineures d'érosion se sont produites ultérieurement. L'ensemble de ces événements résulte incontestablement de phénomènes naturels que l'homme a subi.

La précision des résultats obtenus par la méthode basée sur la mémoire du sol qui a été développée au cours de ces recherches varie suivant les périodes envisagées. Ainsi, pour la période anté-Néolithique, nous avons été tributaires de dates obtenues par luminescence infrarouge stimulée, dont la précision est au mieux de l'ordre du millier d'années (Bailiff, 1994), ce qui a pour conséquence que l'événement aride de l'Holocène ancien n'est connu qu'à quelques milliers d'années près. Au contraire le second événement, grâce aux nombreuses dates disponibles sur les sites de l'Âge du Bronze, est daté à 200 ans près. Les phases mineures d'érosion postérieures à la période argarique sont à nouveau mal datées et, de plus, leurs caractéristiques mal définies, ceci en raison du faible nombre de sites archéologiques connus pour ces périodes. Par contre, les enregistrements des événements dans les sols sont remarquablement conservés. Les sols enterrés sous les sites archéologiques sont du type complexe selon Courty (1994), c'est-à-dire qu'ils procèdent d'une histoire dont le début est imprécisément daté ; en première approximation leur développement a commencé lorsque la surface géomorphologique sur laquelle ils ont évolué s'est stabilisée.

L'originalité de nos conclusions par rapport aux études antérieures repose sur l'élaboration d'une démarche méthodologique adaptée à la discrimination des impacts anthropiques et des facteurs naturels. Cette démarche procède d'une lecture dynamique des sols basée sur la reconnaissance des mécanismes fondamentaux impliqués dans la formation de la couverture pédologique. L'importance de la mémoire du sol pour la reconstitution des événements climatiques et aussi de l'évolution des sociétés humaines a été ainsi mise en relief. Pourquoi cette démarche ne s'est-elle pas généralisée plus tôt ? Les pédologues agronomes n'ont pas été intéressés par les temporalités du sol parce que leur finalité principale était de contribuer à la production agricole. Seul un petit nombre de pédologues (travaillant souvent à temps partiel) ont essayé de décrypter la mémoire du sol, mais en s'intéressant préférentiellement aux paléosols du Pléistocène. Il est certain que le décryptage des événements pédo-sédimentaires de l'Holocène, comme nous le montrons, ne peut pas se réaliser par l'intermédiaire d'analyses fournissant des résultats chiffrés, ou encore à l'aide d'index ou d'indicateurs, mais qu'il requiert une recherche systématique des enregistrements dans le sol principalement aux échelles microscopiques. Cette recherche nécessite un apprentissage d'autant plus long qu'il n'existe actuellement que des référentiels incomplets, d'où des tentatives dans le passé qui souvent ne furent pas couronnées de succès. De plus, la finalité de ce type de recherches impose un cadre chronologique précis (de la centaine d'années) dont l'élaboration se heurte à la difficulté d'obtenir en tous points des dates radiométriques fiables en corrélation avec la chronologie culturelle.

Remerciements

Les présentes recherches ont été financées par l'Union européenne – projet ARCHAEOMEDES (contrat EV5V-0021) qui avait pour objet l'étude des causes naturelles et anthropogéniques de désertification dans le bassin méditerranéen. Ce projet a été coordonné par S. Van der Leeuw.

Bibliographie

AELLEN de la CHAPELLE (M.), 1990.– Le couloir de Pulpi. *In* : C. Montenat, *Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement. Première partie : étude régionale*. Paris : Documents et travaux de l'IGAL, 12-13 : 195-206.

BAILIFF (I.K.), 1992.– Luminescence dating of alluvial deposits. *In* : S. Needham, M. G. Macklin, *Alluvial Archaeology in Britain*. Oxbow Monograph, 27 : 27.

BAILIFF (I.K.), 1994.– *Feasibility study : Luminescence dating of sediments from the Vera Basin. Durham : Luminescence Dating Laboratory*. Durham Univ. : 7 p.

BALLAIS (J.-L.), 1991.– *Les terrasses historiques de Tunisie*. Zeitschrift für Geomorphologie. Suppl. Bd., 83 : 221-226.

BALLAIS (J.-L.), JORDA (M.), PROVANSAL (M.), COVO (J.), 1993.– Morphogénèse holocène sur le périmètre des Alpilles. *In* : P. Leveau, M. Provansal, *Archéologie et environnement*

de la sainte-Victoire aux Alpilles. Aix-en Provence : Travaux du Centre Camille Jullian, 14, Publications Université de Provence : 515-546.

BARMAWIDJAJA (D.M.), van der ZWAAAN (G.J.), JORISSEN (F.J.), PUSKARIC (S), 1995.– 150 years of eutrophication in the northern Adriatic sea : Evidence from a benthic foraminiferal record. *Marine Geology*, 122, 4 : 367-384.

BERGER (A.), 1988.– Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 26 : 624-657.

BORK (H.R.), ROHDENBURG (H.), 1981.– Rainfall simulation in south-east Spain. Analysis of overland flow and infiltration. *In* : R.C.P. Morgan, *Soil conservation problems and prospects.* New-York : Wiley : 293-302.

BOTTEMA (S.), WOLRING (H.), 1990.– Anthropogenic indicators in the pollen record of the eastern Mediterranean. *In* : S. Bottema, G. Entjes-Nieborg, W. Van Zeist, *Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean Landscape.* Rotterdam : Balkema : 231-264.

BRADSHAW (R.), 1993.– Forest response to Holocene climatic change: equilibrium or non-equilibrium. *In* : F.M. Chambers, *Climate change and human impact on the landscape.* London : Chapman and Hall : 57-65.

BRESSON (L.M.), BOIFFIN (J.), 1990.– Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field. *Geoderma*, 47 : 301-325.

BULLOCK (P.), FEDOROFF (N.), JONGERIUS (A.), STOOPS (G.), TURSINA (T.), 1985.– *Handbook for soil thin section description.* Wolverhampton, United Kingdom : Waine Research Publications : 152 p.

CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989.– *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration.* Paris : Didactiques. Éditions de l'ORSTOM : 229 p.

CASTRO (P.V.), COLOMER (E.), GILI (S.), GONZALEZ MARCEN (P.), LULL (V.), MICO (R.), MONTON (S.), RIHUETE (C.), RISCH (R.), RUIZ PARRA (M.), SANAHUJA (Mª. E.), TENAS (M.), 1994.– Ecosocial dynamics : human and natural coevolution. *In* : S E. van der Leeuw, *Understanding the natural and anthropogenic causes of soil degradation and desertification in the mediterranean basin. Vol. 2 : Temporalities and desertification in the Vera basin.* Cambridge, Directorate General XII of the Commission of the European Union : 85-141.

COURTY (M.A.), 1994.– Le cadre paléogéographique des occupations humaines dans le bassin du Haut-Khabur (Syrie du Nord-Est). Premiers résultats. *Paléorient*, 20/1 : 21-59.

COURTY (M.A.), FEDOROFF (N.), JONES (M.), CASTRO (P.V.), COLOMER (E.), GILI (S.), GONZALEZ MARCEN (P.), LULL (V.), MICO (R.), MONTON (S.), RIHUETE (C.), RISCH (R.), RUIZ PARRA (M.), SANAHUJA (Mª. E.), TENAS (M.), McGLADE (J.), 1994.– Environmental dynamics. *In* : S. E. van der Leeuw : *Understanding the natural and anthropogenic causes of soil degradation and desertification in the mediterranean basin. Vol. 2 : Temporalities and desertification in the Vera basin.* Cambridge, Directorate General XII of the Commission of the European Union : 19-84.

ERCILLA (G.), ALONSO (B.), BARAZA (J.), 1994.– Post-Calabrian sequence stratigraphy of the northwestern Alboran sea (southwestern Mediterranean). *Marine Geology*, 120 : 249-265.

FAO-UNESCO, 1988.– *Soil map of the World. Revised Legend.* Rome : World soil ressources report 60 : 119 p.

FEDOROFF (N.) 1987.– The production potential of soils: Part I - Sensitivity of the principal soil types to the intensive agriculture of north-western Europe. *In* : H. Barth, P. L'Hermitte, *Scientific basis for Soil Protection in the European Community.* London and New-York : Elsevier Applied Science : 65-85.

FEDOROFF (N.), COURTY (M.-A.), 1989.– Indicateurs pédologiques d'aridification. Exemples du Sahara. *Bull. Soc. géol. France*, 8, T.V, 1 : 43-53.

FEDOROFF (N.), COURTY (M.-A.), 1994.– Organisation du sol aux échelles microscopiques. *In* : M. Bonneau, B. Souchier, *Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol, 2e édition.* Paris : Masson : 349-375.

FOLK (R.L.), 1959.– Practical petrographic classification of limestones. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 43 : 1-38.

FREYTET (P.), 1984.– Les sédiments lacustres carbonatés et leurs transformations par émersion et pédogenèse. Importance de leur identication pour les reconstitutions paléogéographiques. *Bull. Soc. Nat. Elf Production*, 8 : 223-247.

GASSE (F.), Van CAMPO (E.), 1994.– Abrupt post-glacial events in West Asia and North Africa monsoon domains. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 126 : 435-456.

GIRARD (M. C.), 1993.– *Étude du bassin de Vera (Espagne) par télédection.* Thiverval-Grignon : Institut National Agronomique P-G, Lab. de Science des Sols et Hydrologie : 42 p.

GLASSNER (J.J.), 1986.– *La chute d'Akkadé. L'événement et sa mémoire.* Berlin : Reimer : 125 p.

GOLDBERG (P.), BAR YOSEF (O.), 1990.– The effect of man on geomorphological processes based upon evidence from the Levant and adjacent areas. *In* : S. Bottema, G. Entjes-Nieborg, W. Van Zeist, *Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean Landscape.* Rotterdam : Balkema : 71-86.

GOY (J.L.), ZAZO (C.), 1986.– Western Almeria (Spain) coastline changes since the last Interglacial. *Journal of Coastal Research*, 1 : 89-93.

GRIVEAUD (P.), 1992.– *Évolution de la sédimentation argileuse des bassins néogènes des cordillères bétiques orientales. Description minéralogique et interprétation géologique.* Cergy-Pontoise : Mémoire de géologue de l'IGAL. Cycle supérieur : 266 p.

GUILLORE (P), 1985.– *Méthode de fabrication mécanique et en série de lames minces.* Thiverval-Grignon : Département des Sols. I.N.A. P-G : 28 p.

GUO (Z.T.), 1990.– *Succession des paléosols et des loess du centre-ouest de la Chine.* Approche micromorphologique. Paris : Thèse de doctorat de Univ. P. et M. Curie : 266 p.

HOFFMANN (G.), 1988.– *Holozänstratigraphie und Künstenlinienverlagerung an der Andalusischen Mittelmerküste.* Bremen : Berichte Fachbereich Geowissenschaften Universität Bremen, 2 : 167 p.

HUMBERT (L.), 1976.– *Éléments de pétrologie dynamique des systèmes calcaires. Description macroscopique et microscopique. Diagenèse.* Applications. Paris : Éditions Technip : 213 p.

JANSEN (E.), VEUM (T.), 1990.– Evidence for two-step deglaciation and its impact on North Atlantic deep-water circulation. *Nature*, 343 : 612-616.

LOPEZ-BERMUDEZ (F.), 1993.– El Ardal, Murcia, Spain. *In* : J.B. Thornes, *Medalus I. Final report. Mediterranean desertification and land use.* London : Commission of the European Communities. European programme on climate and natural hazards : 433-460.

LULL (V.), 1983.– *La « cultura » del El Argar. Un modelo para el estudio de los formaciones economico-sociales prehistoricas*. Madrid : Akal : 487 p.

MONTENAT (C.), 1990.– *Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement. Première partie : étude régionale*. Paris : Documents et travaux de l'IGAL, 12-13 : 392 p.

MONTENAT (C.), OTT d'ESTEVOU (P.), de la CHAPELLE (G.), 1990.– *Le bassin de Nijar - Carboneras et le couloir du bas-Andarax. In* : C. Montenat, *Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement. Première partie : étude régionale*. Paris : Documents et travaux de l'IGAL, 12-13 : 129-164.

ORDAZ (V.), 1995.– *Impact de la culture intensive des agrumes sur le fonctionnement des sols dans une zone tropicale du Mexique (État de tabasco)*. Paris : Thèse de l'Institut National Agronomique P-G : Sols n° 20 : 139 p.

OTTd'ESTEVOU (Ph.), MONTENAT (C.), ALVADO (J.C.), 1990.– Le bassin de Vera - Garrucha. *In* : C. Montenat, *Les bassins néogènes du domaine bétique oriental (Espagne). Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement. Première partie : étude régionale*. Paris : Documents et travaux de l'IGAL, 12-13 : 129-164.

PARRA (I.). 1994.– *Quantification des précipitations à partir des spectres polliniques actuels et fossiles du Tardiglaciaire à l'Holocène supérieur de la côte méditerranéenne espagnole*. Thèse de l'École pratique des Hautes Études : 314 p.

PROVANSAL (M.), MORHANGE (C.), 1994.– Seuils climatiques et réponses morphogéniques en Basse-Provence depuis 5 000 ans. *Quaternaire*, 5, 3-4 : 113-118.

PUIGDEFABREGAS (J.), 1993.– Tabernas, Almeria, Spain. *In* : J.B. Thornes, *Medalus I. Final report. Mediterranean desertification and land use. London : Commission of the European Communities*. European programme on climate and natural hazards : 461-503.

ROBERTS (N.), 1990.– Human induced lanscape change in south and south-west Turkey during the later Holocene. *In* : S. Bottema, G. Entjes-Nieborg, W. Van Zeist, *Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean Landscape*. Rotterdam : Balkema : 53-67.

ROLLEFSON (G.O.), 1994.– Le Néolithique de la vallée du Jourdain. *La Recherche* : 92-96.

ROQUERO (C.), 1982.– *Causas y efectos de la erosion en el medio natural de Almeria. Almeria : Seminario sobre zonas Aridas*. Inst. Est. Almerienses : 91-115.

RUNNELS (C.), 1995.– La Grèce ancienne, pays ravagé. *Pour la Science* : 92-96.

SANCHEZ (G.), PUIGDEFABREGAS (J.), 1994.– Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. *Geomorphology*, 9 : 243-260.

SILVA (P.G.), GOY (J.L.), SOMOZA (L.), ZAZO (C.), BARDAJI (T.), 1993.– Landscape response to strike-slip faulting linked to collisional settings : Quaternary tectonics and basin formation in the Eastern Betics, southeastern Spain. *Tectonophysics*, 224 : 289-303.

TAINTER (J.A.),1988.– *The collapse of complex societies*. Cambridge : Cambridge Univ. Press : 250 p.

THORNES (J.B.), 1987.– The palaeo-ecology of erosion. *In* : J.M. Wagstaff, *Landscape and Culture. Geographical and Archaeological perspectives*. Oxford : Blackwell : 37-55.

THORNES (J.B.), 1993.– *Medalus I. Final report. Mediterranean desertification and land use. London : Commission of the European Communities*. European programme on climate and natural hazards : 607 p.

THORNES (J.B.), GILMAN (A.), 1983.– Potential and actual erosion around archaeological sites in south-east Spain. *In* : J. de Ploey, *Rainfall simulation, runoff and soil erosion. Catena Supplement*, 4 : 91-114.

VERSTRAETE (M.), 1986.– Defining desertification: a review. *Climate change*, 9 : 5-18.

Van ANDEL (T.H.), ZANGGER (E.), 1990.– Landscape stability and destabilisation in the prehistory of Greece. *In* : S. Bottema, G. Entjes-Nieborg, W. Van Zeist, *Man's role in the shaping of the Eastern Mediterranean Landscape*. Rotterdam : Balkema : 139-157.

Van der LEEUW (S.E.), 1994.– *Understanding the natural and anthropogenic causes of soil degradation and desertification in the mediterranean basin. Vol. 2 : Temporalities and desertification in the Vera basin*. Cambridge : Directorate General XII of the Commission of the European Union : 334 p.

VITA-FINZI (C.), 1969.– *The Mediterranean Valleys. Geological changes in historical times*. Cambridge : Cambridge University Press : 140 p.

WAINWRIGHT (J.), 1994.– Anthropogenic factors in the degradation of semi-arid regions: a prehistoric case study in southern France. *In* : A.C. Millington, K. Pye, *Environmental Change in drylands : Biogeographical and geomorphological prospectives*. London : Wiley : 285-304.

WEISS (H.), COURTY (M.-A.), WETTERSRÖM (W.), GUICHARD (F.), SENIOR (L.), MEADOW (R.), CURNOW (A.), 1993.– The genesis and collapse of Third Millenium north Mesopotamian Civilization. *Science*, 261 : 995-1004.

WENZENS (G.), 1991.– Die Quartäre Küstenenwicklung im Mündungsbereich des Flüsse Aguas, Antas und Almanzora in Südostspanien. *In* : H. Brückner, U. Radtke, *Vor der Nordsee bis zum Indischen Ozean*. Stuttgart, F. Steiner Verlag : 131-150.

WENZENS (G.), 1992.– Mittelquartäre Klimaverhältisse und Reliefentwicklung in semiariden Becken von Vera (Südostspanien). *Eiszeitalter und Gegenwart*, 42 : 121-133.

YASSOGLOU (N.J.), 1987.– The production potential of soils: Part II -Sensitivity of the soil systems in southern Europe to degrading influxes. *In* : H. Barth, P. L'Hermitte, *Scientific basis for Soil Protection in the European Community*. London and New-York : Elsevier Applied Science : 87-122.

YOFFEE (N.), COWGILL (W.), 1988.– *The collapse of Ancient States and Civilizations*. Tucson : Univ. of Arizona : 333 p.

ZANGGER (E.), 1992.– Neolithic to present soil erosion in Greece. *In* : M. Bell, Boardman, *Past and present soil erosion, Archaeological and Geographical perspectives*. Oxbow Monograph, 22 : 87-103.

ZAZO (C.), GOY (C.L.), DABRIO (C.J.), BARDAJI (T.), SOMOZA (L.), SILVA (P.G.), 1993.– The last Interglacial in the Mediterranean as a model for the present Interglacial. *Global and Planetary Changes*, 7 : 109-201.